

EBSD 法を用いた結晶方位解析に基づく 疲労損傷度評価および疲労強度予測

2019 年 8 月

早川 守

主 論 文 要 旨

No.1

報告番号	甲	第	号	氏 名	早川 守
主 論 文 題 名 :					
EBSD 法を用いた結晶方位解析に基づく疲労損傷度評価および疲労強度予測					
<p>(内容の要旨)</p> <p>機械・構造物の疲労破壊を防止し、安全性を確保することは今なお重要な課題である。その中でも疲労き裂発生に関する疲労損傷度評価技術、疲労強度予測技術として、電子線後方散乱回折 (EBSD: Electron Backscatter Diffraction) 法を援用した評価技術・数値解析技術が多数検討されている。一方で、損傷度評価技術としては、材料組織により異なる挙動を示し、定量性・統一性に欠ける点および疲労強度予測技術に関しては疲労き裂の発生個所や活動すべり面が試験結果と異なる点などが課題として残っている。そこで、本研究では、結晶方位差に基づく疲労損傷度評価法、微視的硬さに及ぼす材料組織の影響評価、金属単結晶を対象とした疲労特性評価に関する課題を解決し、EBSD 法に基づく各評価法を改善すること、および各評価法を疲労損傷度評価および疲労強度予測に適用することを目的とした。</p> <p>第 1 章は序論であり、本研究の背景および研究目的について述べた。</p> <p>第 2 章では、粒径の異なるフェライト鋼、炭素量の異なるフェライト・パーライト鋼を対象に、EBSD 法を用いて、疲労き裂発生過程における 3 種類の結晶方位差パラメータ (KAM: Kernel Average Misorientation, GROD: Grain Reference Orientation Deviation および同一個所の方位変化 ($\Delta\theta$)) を評価するとともに、疲労損傷評価指標としての適用性について検討した。その結果、KAM および GROD は損傷部と必ずしも対応しなかった。一方、$\Delta\theta$ は損傷部と比較的よく対応し、さらに最大値 (上位 2.3% 境界値) は粒径・成分によらず、疲労き裂まで増加した後に飽和する挙動を示した。このため、材料組織によらない疲労損傷度評価指標として、$\Delta\theta$ の有用性が明らかとなった。</p> <p>第 3 章では、粒径の異なるフェライト鋼を対象に、EBSD 法による硬さ予測法を提案した。EBSD 法による結晶学的特徴とナノインデンテーションによる硬さ測定の間から、硬さ予測式を構築した。本予測式は定性的に硬さの大小をよく模擬することができ、この式による硬さ推定値と疲労損傷部の関係性を評価した。疲労損傷部は推定硬さの低い領域もしくはこれに隣接した領域であった。このため、本硬さ予測式は最弱部となる疲労き裂発生部の予測に活用できることが明らかになった。</p> <p>第 4 章では、軸方向が [110] 方向と [123] 方向のように異なる結晶方位を有した微細試験片を純鉄単結晶より採取し、単純せん断試験および疲労試験を実施した。単純せん断試験より得られた荷重-変位応答では、[110] 方位の応力の方が [123] 方位のものより大きくなり、せん断疲労限度ではその傾向が逆転する結果となった。後者において [123] 方位のせん断疲労限度は、[110] 方位のものと比べ、約 1.1 倍と高かった。さらに [110] 方位を対象に、軸力の有無による疲労限度の変化を評価した結果、軸方向に引張応力が加わるほど、せん断疲労限度は低下した。</p> <p>第 5 章では、第 4 章で得られた単結晶の応力-ひずみ特性ならびに軸方向負荷によるせん断疲労限度の変化を模擬するため、分解垂直応力による臨界分解せん断応力の変化率を定義し、これを用いた結晶塑性モデルの定式化を試みた。さらに、本モデルを組み込んだ FEM モデルで単結晶単純せん断試験の数値解析を行った。その結果、従来の結晶塑性モデルでは模擬できなかった、単純せん断試験の [110] 方位の方が [123] 方位より応力値が大きくなる傾向を再現できた。さらに、[110] 方位の軸力ありの条件および [123] 方位の軸力なしの条件で、せん断疲労限度の数値解析を行った結果、主すべり系のすべり範囲の飽和値が、方位、負荷条件によらず一定値となった。また、主すべり面投影線は疲労き裂進展経路と一致した。このため、提案の臨界分解せん断応力の変化率を用いたモデルにより単結晶の降伏挙動の高精度な予測、すべり範囲飽和値による疲労限度予測が可能になることを示した。</p> <p>第 6 章は結論であり、本研究の成果を総括した。</p>					

Thesis Abstract

No. _____

Registration Number	<input checked="" type="checkbox"/> "KOU" <input type="checkbox"/> "OTSU" No. _____ <small>*Office use only</small>	Name	HAYAKAWA, Mamoru
<p>Thesis Title</p> <p style="text-align: center;">Fatigue Damage Evaluation and Fatigue Strength Prediction Based on Crystallographic Orientation Analyses Using EBSD Method</p>			
<p>Thesis Summary</p> <p>Fatigue damage evaluation and strength prediction for fatigue crack initiation have been studied using electron backscatter diffraction (EBSD) method in recent years. However, some disadvantages remain in these technologies. For example, the fatigue damage evaluations during fatigue crack initiation exhibit different behaviors depending on the microstructures of the materials, the fatigue strength predictions give false results for fatigue crack initiation cites and so on. In this thesis, three evaluation methods using EBSD are developed to solve the above problems, i.e., the fatigue damage evaluation method by crystallographic misorientation, microscopic hardness prediction by crystal orientation and the crystal plasticity modelling assuming resolved normal stress effect.</p> <p>Chapter 1 is an introduction summarizing the background and aims of this thesis.</p> <p>In chapter 2, three types of misorientation parameters for fatigue crack initiation, i.e., KAM: Kernel Average Misorientation, GROD: Grain Reference Orientation Deviation and crystal misorientation at the same point before and after fatigue testing ($\Delta\theta$) are investigated using ferritic and ferritic-pearlitic steels. Then, $\Delta\theta$ is the effective damage indicator independent of the material structure, although KAM and GROD do not always correlated with the damaged parts.</p> <p>Chapter 3 describes an estimating method for microscopic hardness in ferritic steels via EBSD method. The estimating equation is developed on the basis of relationships between the crystallographic features characterized by EBSD and the microscopic hardness measured by nanoindentation tester.</p> <p>In chapter 4, simple shear tests and fatigue tests for iron single-crystals with different crystallographic orientations under axial loadings are conducted by small test pieces in the axial directions with [110] or [123]. The load-displacement curves indicate that specimen with [110] direction has higher stress than that with [123] direction, while the shear fatigue limit expresses an opposite tendency that specimen with [123] direction is higher than that with [110] direction.</p> <p>Chapter 5 devotes the new crystal plasticity model assuming the decrease of critical resolved shear stress owing to the resolved normal stress on a slip plane to numerically simulate the results in chapter 4. The computational analyses using the present model can simulate the experimental results of simple shear tests and similar saturated value of the slip range in the fatigue test with different crystal orientations and axial loading conditions. Therefore, it can be said that the present model predicts the yield behavior and fatigue limit of single crystals.</p> <p>Chapter 6 summarizes conclusions obtained from this study.</p>			